

COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE SISTEMAS DE TECHOS LIVIANOS

Vicente Leonardo Volantino, Edgar Jorge Cornejo Siles, Elisa M. Etchechoury
Unidad Técnica Habitabilidad Higrotérmica, CECON, INTI
Casilla de correo 157 (1650) San Martín Prov. Buenos Aires ARGENTINA
Fax: (011) 4753-5784 - E-mail: yvolanti@inti.gov.ar, edcorne@inti.gov.ar, eme@inti.gov.ar

RESUMEN

Este trabajo tiene por objeto medir las caídas térmicas que se producen en diferentes sistemas de techo liviano, cuando son sometidos a una carga térmica equivalente a la alcanzada en condiciones de verano. Se utilizaron termocuplas dispuestas en tres niveles y la fuente de calor sobre la cubierta, consistió en una batería de resistencias calefactoras, cuya potencia se regula con un controlador de temperatura.

Se experimentó sobre tres tipos de cubierta, chapa metálica, tejas cerámicas francesas de color rojo y de color negro. Sobre ellas se fijaron temperaturas superficiales similares a las halladas en condiciones de verano, cuyos valores fueron obtenidos oportunamente, en forma experimental, en un tinglado de chapa metálica emplazado en el INTI. Las diferentes configuraciones que se ensayaron comprendieron, aislación térmica de lana de vidrio, membrana de polietileno con película reflejante más cámara de aire y solamente cámara de aire.

Se presentan las relaciones de resistencias térmicas de cada caso con respecto a sus resistencias térmicas totales correspondientes.

Palabras clave: techo liviano, comportamiento térmico.

DESCRIPCION DEL TRABAJO

Con el objeto de poder determinar las diferencias en el comportamiento térmico de distintos sistemas de techos livianos, sometidos a condiciones de verano, se realizó un trabajo experimental consistente en la medición de las temperaturas que alcanzaban cada uno de los casos ensayados, para una determinada carga térmica superior. Para ello, se fueron montando sucesivamente los diferentes casos de techo sobre un local u otro. La experimentación se desarrolló en un sector de la nave del edificio de INTI Construcciones, en el que se construyó un prototipo compuesto por dos locales contiguos. Sobre la parte superior de tales locales, se instaló un sistema de calefacción que irradiaba sobre la cubierta, de manera de representar una condición de temperatura equivalente a la que puede ocurrir en condiciones de verano. Cada local cuenta con un sistema calefactor independiente que abarca toda la superficie de la cubierta. Cada sistema calefactor cuenta con un control automático que permite mantener la temperatura de la cubierta en un valor predeterminado, dentro de un entorno.

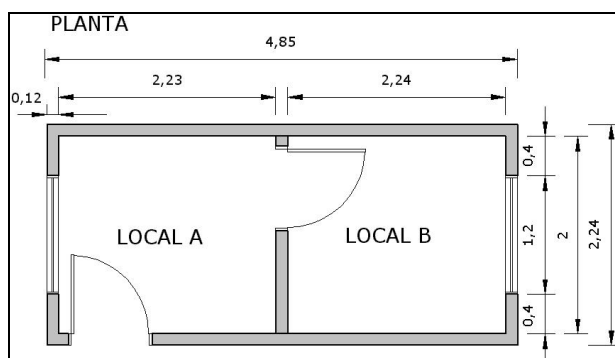


Figura 1: Dimensiones de los locales construidos.

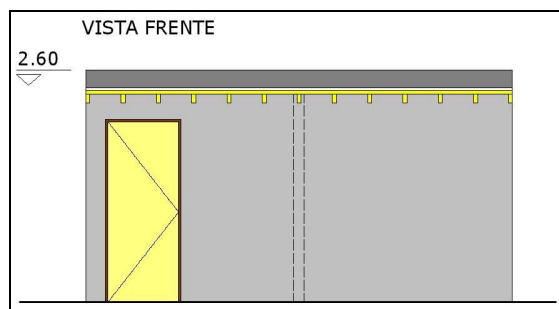


Figura 2: Vista de frente de los locales.

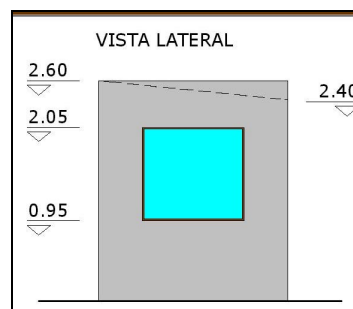


Figura 3: Vista lateral de los locales.

El sistema constructivo de dichos locales está conformado por paneles tipo sándwich con bastidor de perfiles de chapa galvanizada revestido en ambas caras con placas de rocas de yeso y núcleo de lana de vidrio (espesor 0,10 m). Ambos locales poseen ventanas de paño fijo simple (espesor 6 mm) al exterior. El Local A tiene para su acceso desde el exterior, una puerta tipo placa con el agregado de lana de vidrio de 0,10 m y otra de igual característica que lo comunica con el Local B. En la Figura 1 se detallan las dimensiones de los locales (en m); en la Figura 2, la vista de frente y en la Figura 3, la vista lateral.

CARACTERÍSTICAS DE LOS TECHOS ENSAYADOS

Los techos livianos que se sometieron a la exposición de la fuente radiante, se pueden dividir en cubiertas de chapas metálicas y de tejas cerámicas, y éstas a su vez, discriminadas por su color, en rojas y negras. La constitución básica de todos ellos, se compone de tirantes de madera de 95 mm x 45 mm, machimbre de 8 mm de espesor, fieltro asfáltico y la cubierta que corresponde. Entre el cielorraso y la cubierta, se colocó en las diferentes alternativas, aislación térmica de lana de vidrio con barrera de vapor de lámina de aluminio en su parte inferior, ó membrana de polietileno con la cara de baja emisividad orientada hacia arriba más cámara de aire, ó solamente se dejó la cámara de aire. Se utilizaron alternativas en la ubicación del material aislante térmico, es decir, se dispuso entre clavaderas o por encima de éstas. El detalle de las diferentes opciones experimentadas, se describe a continuación:

Techo de chapas metálicas de acero esmaltado de color negro:

CASO 1: lana de vidrio de 50 mm con barrera de vapor de lámina de aluminio en su cara inferior, colocada por encima de las clavaderas.

CASO 2: idem anterior pero colocada entre las clavaderas.

CASO 3: membrana reflectiva de 10 mm (con la cara reflectiva en la cara superior) y cámara de aire de aproximadamente 40 mm (del lado de la cara reflectiva).

CASO 4: idem anterior de 5 mm y cámara de aire de aproximadamente 45 mm (del lado de la cara reflectiva).

CASO 5: cámara de aire de aproximadamente 50 mm

CASO 6: cámara de aire de aproximadamente 40 mm.

Techo de tejas cerámicas francesas de color rojo:

CASO 7: lana de vidrio de 50 mm. La misma se colocó por encima de las clavaderas

CASO 8: lana de vidrio de 38 mm, colocada entre clavaderas

CASO 9: membrana reflectiva de 5 mm (con la cara reflectiva en la cara superior) y cámara de aire de aproximadamente 45 mm (del lado de la cara reflectiva).

CASO 10: cámara de aire de aproximadamente 45 mm.

CASO 11: cámara de aire de aproximadamente 38 mm

Techo de tejas cerámicas francesas de color negro:

CASO 12: lana de vidrio de 50 mm. La misma se colocó por encima de las clavaderas

CASO 13: lana de vidrio de 38 mm. La misma se colocó por encima de las clavaderas

CASO 14: membrana reflectiva de 5 mm (con la cara reflectiva en la cara superior) y cámara de aire de aproximadamente 30 mm (del lado de la cara reflectiva).

CASO 15: cámara de aire de aproximadamente 45 mm

CONDICIONES DE ENSAYO

La temperatura de la cubierta metálica de los locales se fijó durante el ensayo, en un valor similar al de la temperatura máxima diaria que se registra a la intemperie, bajo radiación solar, durante un día de verano. Para ello, se tomaron en cuenta los datos de temperatura registrados en una cubierta metálica similar, en una experiencia llevada a cabo por el INTI en el Parque Tecnológico Miguelete, Partido de San Martín, entre el 19 de febrero y el 04 de abril de 1994. La máxima temperatura registrada en este período sobre dicha cubierta, que resultó ser de 71,9°C, corresponde al día 13 de marzo a las 13:00 horas, con una temperatura ambiente de 32,1°C y una irradiancia solar de 950 W/m². (Volantino et al. , 1994).

De acuerdo a lo señalado precedentemente, se realizó el ajuste de cada sistema calefactor con el fin de lograr una temperatura de aproximadamente 70 °C en toda la superficie de la cubierta metálica durante el ensayo. Por su parte, para los casos de cubiertas con tejas cerámicas (francesas) con esmalte de color rojo, el ajuste se efectuó a una temperatura de aproximadamente 55°C, mientras que para las cubiertas de tejas francesas con esmalte negro mate, se las expuso a una condición de 63°C. Estos valores se obtuvieron mediante un cálculo numérico, mediante elementos finitos sobre geometría bidimensional, en el que se adoptó como referencia el dato de la temperatura de la chapa metálica antes citado, habiendo considerado las características geométricas y las propiedades térmicas y los coeficientes de absorción a la radiación solar correspondientes a las tejas cerámicas de cada color.

El ensayo consistió en la medición de temperaturas en ambos locales, bajo la acción del sistema de calefacción. Se colocaron 24 termocuplas distribuidas en 4 niveles, a saber:

- Nivel 1: Superficie inferior de la cubierta metálica
- Nivel 2: Superficie superior del machimbre
- Nivel 3: Superficie inferior del machimbre
- Nivel 4: Aire interior del local (a 1,80m del piso)

En la Figura 4, se muestra la ubicación de los niveles mencionados, mientras que la distribución de las termocuplas se presenta en la Figura 5.

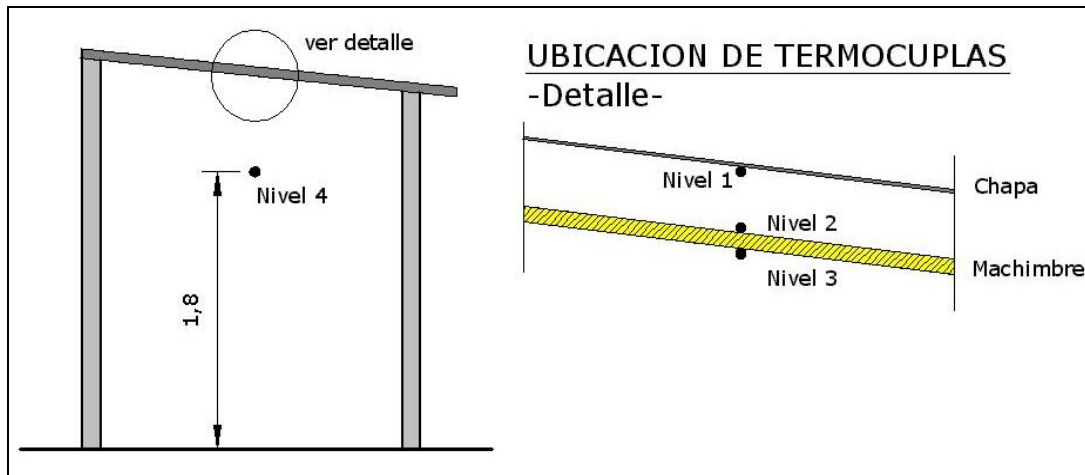


Figura 4: Ubicación de los sensores de temperatura de acuerdo al nivel.

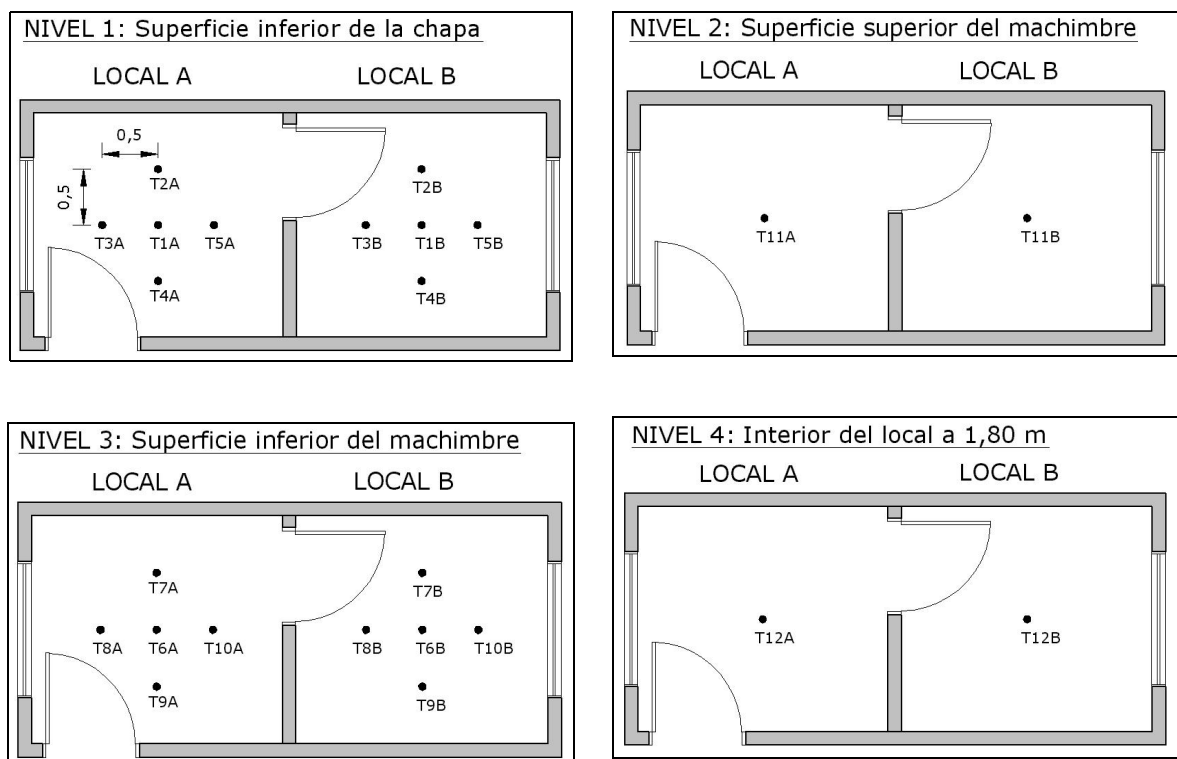


Figura 5: Distribución de los sensores de temperatura en cada nivel

Para la medición de las temperaturas, se utilizaron termocuplas de cobre / constantán, las que se registraron automáticamente cada 10 minutos, durante 9 horas, mediante un registrador analógico digital con entrada múltiple de canales, marca Yokogawa, modelo 3081.

Como el local A tiene puerta de acceso al exterior y el local B no la posee, las mediciones de temperatura se realizaron una vez aislada dicha puerta con placas de lana de vidrio y sellada con cinta engomada, para reducir la transferencia de calor entre este local y el exterior. También se colocó aislamiento de lana de vidrio en la puerta que comunica ambos locales, para reducir la transferencia de calor de un local a otro.

ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES

En la Figura 6, se muestra a título de ejemplo, la representación de los registros de temperatura obtenidos cada 10 minutos en un intervalo de 23 horas para el Caso 1.

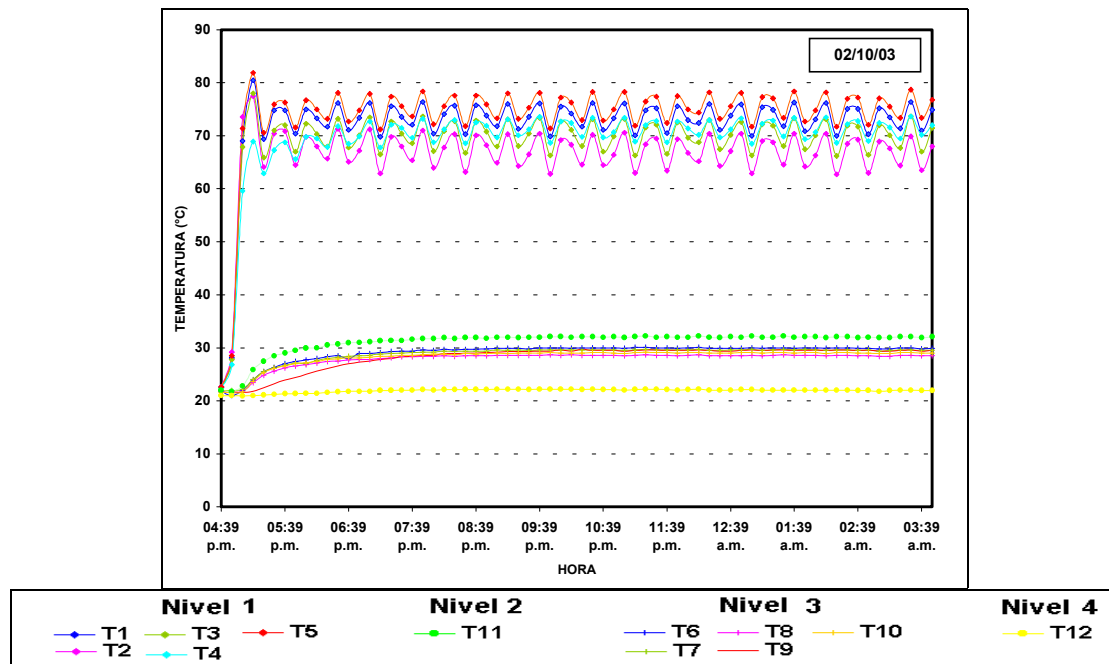
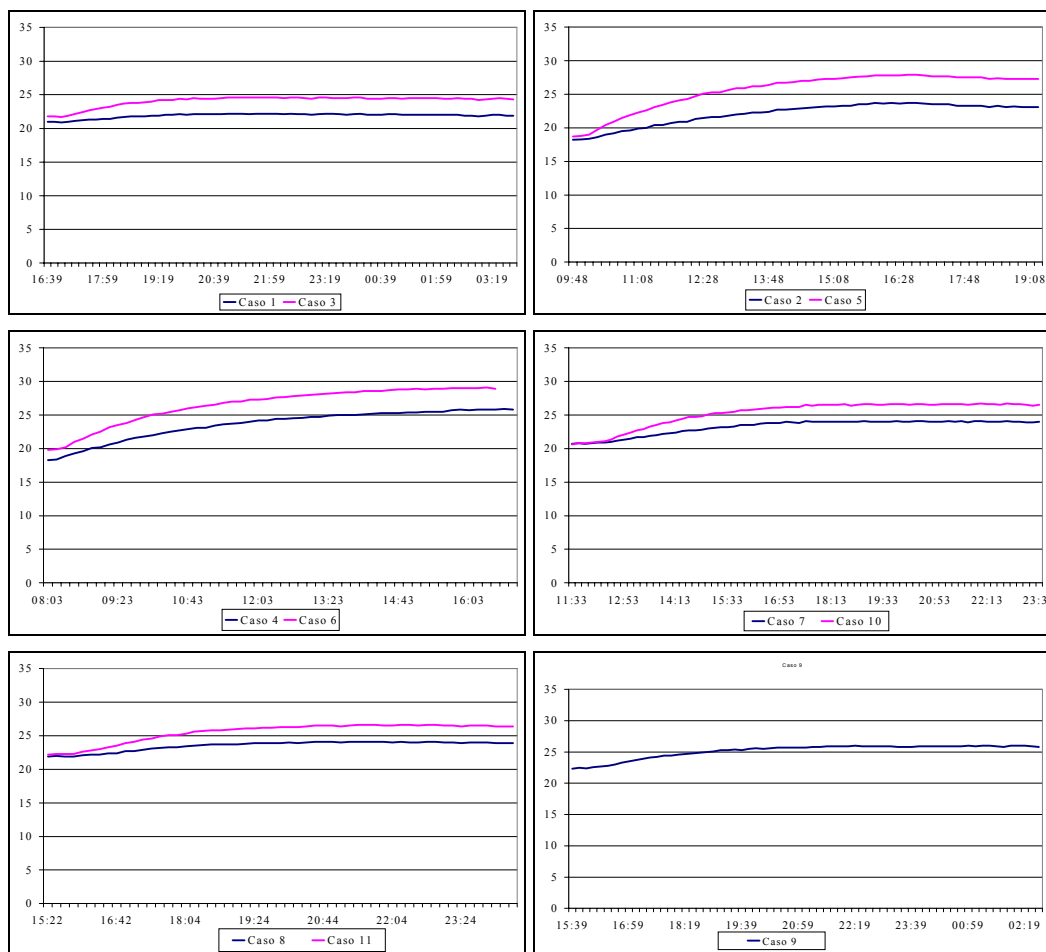


Figura 6: Evolución de las temperaturas medidas en los diferentes niveles del sistema de techo de chapa metálica con 50 mm de lana de vidrio, utilizado en el local A.

En las Figuras 7, se representa la evolución de la temperatura del aire, para cada caso de techo con cubierta liviano ensayado. En orden de izquierda a derecha y en forma descendiente, se muestran los gráficos correspondientes a los casos 1 y 3, 2 y 5, 4 y 6 (chapa metálica), 7 y 10, 8 y 11, 9 (teja cerámica roja), 12 y 15, 13 y 14 (teja cerámica negra). Para los resultados se consideró a partir del instante en que se alcanzó un comportamiento en régimen estacionario, habiéndose efectuado un promedio de los registros de temperatura obtenidos durante este período, para cada nivel de ubicación.



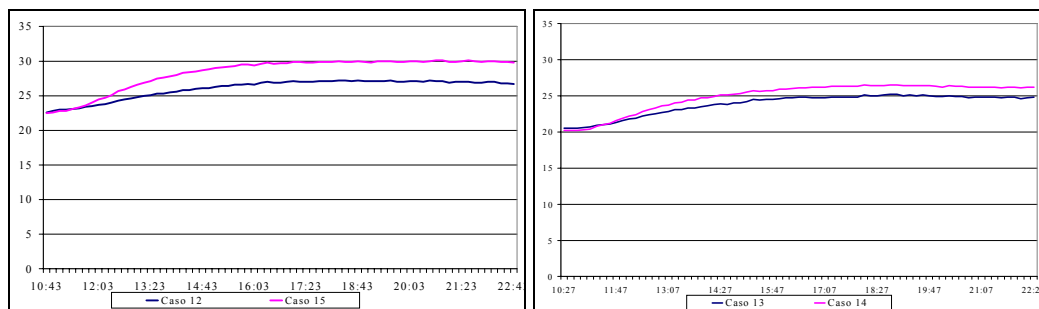


Figura 7: Evolución de la temperatura del aire interior del local para cada caso de techo liviano.

RESULTADOS OBTENIDOS

Se presentan los valores de temperatura, promediados en el tiempo considerado de régimen estacionario y en el plano de la superficie de medición. Asimismo, se informa la diferencia de temperatura medida en el sistema de techo (ΔT_1) y la relación entre éste y la diferencia total que resulta entre la temperatura de la cubierta y la temperatura del aire interior del local (ΔT). Este cociente ($\Delta T_1/\Delta T$), es equivalente a considerar una relación de resistencias térmicas entre el sistema de techo (tomado desde la superficie de la cubierta hasta la superficie del cielorraso) y la que comprende el ambiente interior. Esta relación de resistencias térmicas brinda información acerca de la eficiencia térmica del techo bajo medición. En las tablas subsiguientes, se puede observar a los distintos sistemas de techos agrupados por tipo de cubierta y ordenados en función de su comportamiento térmico decreciente.

La temperatura ambiente de la nave del edificio donde se encontraban los locales bajo ensayo, presentaba una variación comprendida entre 15 y 18°C.

CASO	DESCRIPCIÓN	Temperatura de la cubierta	Temperatura de cielorraso	Temperatura aire interior	ΔT_1	$\Delta T_1/\Delta T$
1	Lana de vidrio (50 mm) por encima de las clavaderas	73,5	29,9	22,1	43,6	84,8
2	Lana de vidrio (50 mm) entre las clavaderas	72,0	32,2	23,2	39,8	81,5
3	Membrana reflectiva (10 mm) + capa de aire (40 mm)	70,5	36,7	24,5	33,8	73,4
4	Membrana reflectiva (5 mm) + capa de aire (45 mm)	71,5	39,8	25,8	31,7	69,3
5	Cámara de aire (50 mm)	70,9	46,7	27,9	24,2	56,3
6	Cámara de aire (40 mm)	71,0	47,6	29,0	23,4	55,7

Tabla 1: Mediciones de temperatura en techos de chapa metálica, para una condición de 70 ° C de superficial exterior.

CASO	DESCRIPCIÓN	Temperatura de la cubierta	Temperatura de cielorraso	Temperatura aire interior	ΔT_1	$\Delta T_1/\Delta T$
1	Lana de vidrio (50 mm) por encima de las clavaderas	54,3	29,7	24,0	24,6	81,1
2	Lana de vidrio (38 mm) entre las clavaderas	54,5	30,3	24,1	24,2	79,3
3	Membrana reflectiva (5 mm) + capa de aire (45 mm)	57,1	34,4	25,9	22,7	72,7
4	Cámara de aire (45 mm)	56,9	36,6	26,5	20,1	66,1
5	Cámara de aire (38 mm)	56,7	36,9	26,5	19,8	65,5

Tabla 2: Mediciones de temperatura en techos de tejas cerámicas de color rojo, para una condición de 55 ° C de superficial exterior.

CASO	DESCRIPCIÓN	Temperatura de la cubierta	Temperatura de cielorraso	Temperatura aire interior	ΔT_1	$\Delta T_1 / \Delta T$
1	Lana de vidrio (50 mm) por encima de las clavaderas	64,2	32,8	26,1	31,4	84,4
2	Lana de vidrio (38 mm) por encima de las clavaderas	63,2	32,5	24,8	30,7	79,9
3	Membrana reflectiva (5 mm) + capa de aire (30 mm)	63,3	36,4	26,2	28,3	73,5
4	Cámara de aire (45 mm)	63,1	41,3	30,0	21,8	65,9

Tabla 3: Mediciones de temperatura en techos de tejas cerámicas de color negro, para una condición de 63 ° C de superficial exterior.

CONCLUSIONES

Como resultado de las mediciones realizadas, se pudo efectuar una serie de conclusiones, que si bien eran esperables desde el punto de vista térmico, permitió cuantificar comparativamente los comportamientos brindados por cada tipo de techo bajo prueba.

La diferencia de temperatura observado exclusivamente en el techo, permite obtener una primera idea del comportamiento del mismo, ya que cuanto mayor es tal diferencia, mejor es la aislación térmica que ofrece. La relación de resistencias térmicas también es acorde con dicha variación, que además permite evaluar el nivel de eficiencia térmica que se puede conseguir.

Una de las conclusiones encontrada a partir de los resultados de la experiencia, es que con la utilización de un aislante térmico convencional como la lana de vidrio, permite lograr una eficiencia térmica superior al 80 %. El aumento de espesor del material de 38 a 50 mm, es acompañado por una mayor eficiencia del techo en aproximadamente un 4 %.

Cuando se emplean membranas de pequeño espesor con película reflectiva en su cara superior y enfrentada a la cámara de aire, su eficiencia térmica no alcanza el 75 %.

Por su parte, si no se emplea ningún material entre la cubierta y el cielorraso, es decir la única aislación térmica la provee la cámara de aire existente, que a su vez es estanca, este tipo de techos ofrecen una eficiencia térmica comprendida entre el 55 y el 65 %, dependiendo este valor del tipo de cubierta empleado. Se verifica una menor eficiencia cuando se trata de cubierta metálica que de tejas cerámicas.

El cambio de espesor del espacio de aire, en una variación de hasta 1 cm, no incrementa prácticamente la eficiencia térmica del techo.

REFERENCIAS

Volantino V., Cornejo J., López E., Moruga J., Rayson L. (1994). Atenuación de la temperatura radiante en un tinglado. XVII Reunión de Trabajo de ASADES. Rosario.

ABSTRACT

The aim of this work is the measurement of thermal drops produced in a traditional roofing system with a thermocouple distribution arranged in three levels.

A set of heating resistances acts as thermal source, being its power adjusted through a temperature controller.

Three different coverings (e.g. metallic, red french ceramic tile, black french ceramic tile) were measured, setting surface temperatures similar to those obtained for a metallic covering for summer conditions.

Woven glass, polyethylene membrane with reflecting film and air space were the insulating materials considered.

Relations of thermal resistance in each case to respective total thermal resistance are presented here.